

Abstract

LA TRANSIZIONE VERSO UN TRASPORTO SOSTENIBILE RICHIEDE SOLUZIONI INNOVATIVE PER RIDURRE L'IMPRONTA DI CARBONIO DEI VEICOLI MIGLIORANDONE AL TEMPO STESSO L'AUTONOMIA ENERGETICA. TRA LE TECNOLOGIE EMERGENTI, I SISTEMI FOTOVOLTAICI INTEGRATI NEI VEICOLI (VIPV) RAPPRESENTANO UN PERCORSO PROMETTENTE VERSO SETTORI DI TRASPORTO SOSTENIBILI ATTRAVERSO LA GENERAZIONE SOLARE A BORDO. QUESTA TESI PRESENTA UN QUADRO STRUTTURATO E FLESSIBILE PER L'ANALISI, LA PROGETTAZIONE E LA VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI DEI SISTEMI VIPV IN MOLTEPLICI CONTESTI OPERATIVI. PARTENDO DALLA PROPOSTA DI UN APPROCCIO GENERALIZZATO, BASATO SU METODOLOGIE FOTOVOLTAICHE CONVENZIONALI ADATTATE AI VEICOLI IN MOVIMENTO, VIENE INOLTRE SVILUPPATO UN FRAMEWORK BASATO SUI DATI, BASATO SU DATI DI GUIDA REALI RACCOLTI TRAMITE SMARTPHONE E SENSORI DI BORDO. QUESTA TRANSIZIONE METODOLOGICA CONSENTE UNA SIMULAZIONE ACCURATA DELL'IRRADIANZA, DELLA TEMPERATURA E DELLA RESA ENERGETICA SENZA LA NECESSITÀ DI COMPLESSE CONFIGURAZIONI DI TEST. PER SUPPORTARE UN UTILIZZO PIÙ AMPIO, IL FLUSSO DI LAVORO È STATO IMPLEMENTATO IN UNA LIBRERIA MATLAB OPEN SOURCE, VIPVLIB, GARANTENDO TRASPARENZA, RIPRODUCIBILITÀ E FUTURA ESTENSIBILITÀ DA PARTE DELLA COMUNITÀ DI RICERCA. I QUADRI PROPOSTI SONO STATI APPLICATI ATTRAVERSO STUDI DI CASI SU VARI TIPI E SCENARI DI VEICOLI, TRA CUI FLOTTE DI TRASPORTO PUBBLICO (MINIBUS, AUTOBUS E TRAM) E OPERAZIONI DI SOCCORSO IN CASO DI CALAMITÀ, DIMOSTRANDONE COSÌ LA SCALABILITÀ E L'ADATTABILITÀ. INOLTRE, SONO STATE ESEGUITE ANCHE ANALISI ECONOMICHE E AMBIENTALI PER VALUTARE IL COSTO LIVELLATO DELL'ELETTRICITÀ (LCOE), LA PARITÀ DI RETE E LE RIDUZIONI DELLE EMISSIONI DI CO₂ IN DIVERSI CONTESTI EUROPEI E CLIMATICI. NEL COMPLESSO, QUESTO LAVORO CONTRIBUISCE CON UNA METODOLOGIA OLISTICA CHE COLLEGA MODELLAZIONE E PRATICA, OFFRENDO AI DECISORI E AI RICERCATORI UN SOLIDO SET DI STRUMENTI PER VALUTARE LA FATTIBILITÀ DEL VIPV, OTTIMIZZARE I PROGETTI E ACCELERARE L'INTEGRAZIONE DELL'ENERGIA SOLARE NEI PRIMI SISTEMI DI TRASPORTO FUTURI.

Abstract

THE TRANSITION TOWARD SUSTAINABLE TRANSPORT REQUIRES INNOVATIVE SOLUTIONS TO REDUCE THE CARBON FOOTPRINT OF VEHICLES WHILE ENHANCING THEIR ENERGY AUTONOMY. AMONG EMERGING TECHNOLOGIES, VEHICLE-INTEGRATED PHOTOVOLTAIC (VIPV) SYSTEMS REPRESENT A PROMISING PATHWAY TO SUSTAINABLE TRANSPORT SECTORS THROUGH ON-BOARD SOLAR GENERATION. THIS THESIS PRESENTS A STRUCTURED AND FLEXIBLE FRAMEWORK FOR THE ANALYSIS, DESIGN, AND PERFORMANCE ASSESSMENT OF VIPV SYSTEMS ACROSS MULTIPLE OPERATIONAL CONTEXTS. STARTING FROM PROPOSING A GENERALIZED APPROACH, BASED ON CONVENTIONAL PV METHODOLOGIES ADAPTED FOR MOVING VEHICLES, A DATA-DRIVEN FRAMEWORK RELYING ON REAL-WORLD DRIVING DATA COLLECTED THROUGH SMARTPHONES AND ONBOARD SENSORS, IS ALSO DEVELOPED. THIS METHODOLOGICAL TRANSITION ENABLES ACCURATE SIMULATION OF IRRADIANCE, TEMPERATURE, AND ENERGY YIELD WITHOUT THE NEED FOR COMPLEX TEST SETUPS. TO SUPPORT BROADER USE, THE WORKFLOW WAS IMPLEMENTED IN AN OPEN-SOURCE MATLAB LIBRARY, VIPVLIB, ENSURING TRANSPARENCY, REPRODUCIBILITY, AND FUTURE EXTENSIBILITY BY THE RESEARCH COMMUNITY. THE PROPOSED FRAMEWORKS WERE APPLIED THROUGH CASE STUDIES ON VARIOUS VEHICLE TYPES AND SCENARIOS, INCLUDING PUBLIC-TRANSPORT FLEETS (MINIBUS, BUS, AND TRAM) AND DISASTER-RELIEF OPERATIONS, SO DEMONSTRATING THEIR SCALABILITY AND ADAPTABILITY. FURTHERMORE, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ANALYSES WERE PERFORMED TOO, FOR EVALUATING THE LEVELIZED COST OF ELECTRICITY (LCOE), GRID PARITY, AND CO₂-EMISSION REDUCTIONS UNDER DIFFERENT EUROPEAN AND CLIMATIC CONTEXTS. OVERALL, THIS WORK CONTRIBUTES A HOLISTIC METHODOLOGY BRIDGING MODELING AND PRACTICE, OFFERING DECISION-MAKERS AND RESEARCHERS A ROBUST TOOLSET FOR ASSESSING VIPV FEASIBILITY, OPTIMIZING DESIGNS, AND ACCELERATING THE INTEGRATION OF SOLAR ENERGY IN THE EARLY FUTURE TRANSPORT SYSTEMS.